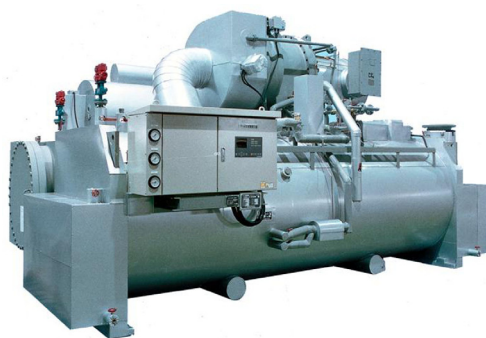


高効率ターボ冷凍機の 優れた性能を維持するサービスメンテナンス

The Service Maintenance for Retaining the High Performance
of High Efficient Centrifugal Chiller



市岡 丈彦
Takehiko Ichioka

石井 正宏
Masahiro Ishii

佐藤 達哉
Tatsuya Sato

ターボ冷凍機は電気を使って工場や公共施設、大型商業施設などの空調を行う熱源機である。現在のターボ冷凍機は10年前に比べて30%近い高効率化を実現し、インバータ駆動ターボ冷凍機に至っては運転条件により一挙にエネルギー効率が4倍以上跳ね上がった。このような目覚しく進化を遂げた高効率ターボ冷凍機であってもメンテナンスを怠ると、効率を維持できないばかりか機器寿命すら短縮してしまう恐れがある。そこで高効率ターボ冷凍機の性能劣化要因を機械要素ごとに明示した。その上でターボ冷凍機を長期間健全に保つ当社メンテナンスサービスを紹介する。

1. はじめに

世界的な省エネルギー要請を背景に、空調や産業用途で使用されるターボ冷凍機は近年、飛躍的に性能が向上した。当社では代替冷媒 HFC134a を用いるターボ冷凍機としては業界トップクラスのレベルを誇るAARTシリーズをはじめ、インバータ技術を駆使した可変速ターボ冷凍機AART-Iシリーズでは部分負荷でのCOP(成績係数)が20を超えるなど、10年前には考えられないような高効率ターボ冷凍機を世に送り出している。

しかしながら、いくら高効率なターボ冷凍機であってもメンテナンスを怠れば当然性能も低下し故障発生に繋がるばかりか、機械寿命そのものを短くしてしまう事態になりかねない。

“高効率ターボ冷凍機の優れた性能維持”。これはターボ冷凍機を運用するお客様の願いであり、CO₂削減に繋がるものである。これをかなえるにはメンテナンスの質が鍵となる。メンテナンスを充実させると高効率の維持だけでなく、安定運転の継続と不測事態の予防が可能となり、お客様にとって省エネルギーだけでなく予防保全・信頼性向上の観点でも極めてメリットが大きい。

“質の高いメンテナンス”は、使用しているターボ冷凍機的设计思想、内部構造をすべて熟知している製造メーカーが直接メンテナンスを実施することによって初めて達成される。ここでは、高効率ターボ冷凍機のメンテナンスサービスの実際を紹介する。

2. 高効率ターボ冷凍機の特徴

図1に高効率ターボ冷凍機の構成を示す。熱交換器である蒸発器と凝縮器の上に遠心式圧縮機を配置する構成である。冷凍サイクルとして2段エコノマイザサブクールサイクルを採用しているため、中間冷却器(エコノマイザ)とサブクーラを具備している。以下、メンテナンスにかかわる主要構成要素について特徴を概略説明する。

(1) 圧縮機

図2に圧縮機断面を示す。心臓部である羽根車は5軸NC加工機で素材から削り出したオー

ブン羽根車を2枚配置する2段圧縮型であり、羽根の先端とシュラウドとは最小隙間で高精度に組み上げられている。羽根車を回転させる高速軸を低損失のアンギュラ形玉軸受けで支え、この高速軸は圧力角を最適化し低損失を実現したギアにて電動機軸（低速軸）より増速される。また、羽根車の前後やその他圧力の異なる境界を軸が貫通する部分はラビリンス型のシールリングによって仕切られている。

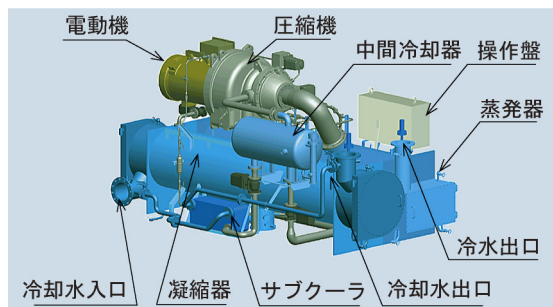


図1 3次元FEM解析モデル

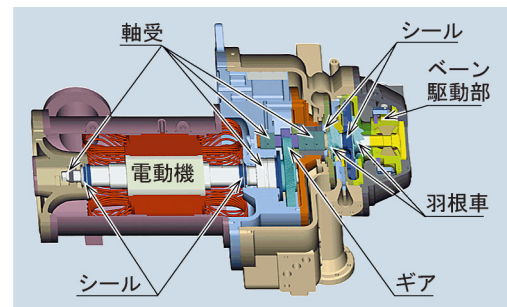


図2 圧縮機断面図

(2) 蒸発器

横置タイプのシェルアンドチューブ形を採用し、熱交換チューブ外面側(シェル側)で冷媒を蒸発させ、チューブ内面側に水やブラインを流す満液式を採用している。このチューブは外面側内面側共に熱伝達率を促進する形状を採用し、特にチューブ配列は冷媒のボイド率を考慮した最適配置となっている。

(3) 凝縮器

蒸発器同様、横置きタイプのシェルアンドチューブ形であり、チューブ内面側に冷却水が流れる。チューブも蒸発器同様外面側内面側共に熱伝達率を促進する形状を採用している。

3. ターボ冷凍機の性能劣化要因

ターボ冷凍機の構成要素ごとに性能低下要因がある。以下、各々について述べる。

(1) 圧縮機の性能低下

ターボ冷凍機の圧縮機は前節及び図2で示したとおり、冷媒冷却式半密閉型誘導電動機を用いてギア増速により羽根車を高速で回転させ冷媒ガスを圧縮する。したがって、圧縮機構成部品はこの回転による加熱、冷却、振動、圧力変動などが繰返される。特に機械接触部(軸受けやラビリンスシールなど)では磨耗や劣化が生じ、これを放置すると性能低下だけでなく振動・騒音の増加から磨耗や劣化が加速度的に進行し、最悪は故障に至る場合もある。これを避けるために定期的な圧縮機のオーバーホールと潤滑油の交換は必須である。

(2) 熱交換器の性能低下

熱交換器の主要部である蒸発器と凝縮器はチューブ内に冷却水や冷温水、ブラインなどの流体が流れる。蒸発器側の冷水(ブライン)は通常閉回路であるためトラブルは少ない。一方、凝縮器側の冷却水は一般に冷却塔などを經由する開放型循環水系統であり、大気からの有機物や塩類、塵埃が系統に入るとともに濃縮するためスケールやスライムなどの汚れが付着しやすく、これによりチューブの熱伝達率が低下し熱交性能が悪化するため、圧縮機の高圧差が増大し圧縮機の性能が低下する。汚れが酷くなると圧縮機の性能低下だけでなくサージングなどの不安定運転につながり、圧縮機の回転部分にダメージを与えることになる。

(3) その他性能低下要因

冷却水や冷水(ブライン)の流量低下、冷却水温度上昇、冷水温度低下は冷凍機の性能を低下させるだけでなく、適正な制御ができない状態となる。また、潤滑油の劣化は圧縮機回転接触部に致命的なダメージを与える場合があり、冷媒への潤滑油溶解過剰やセンサー類の劣化による計測値のズレや故障、制御設定値不良も冷凍機性能に大きく影響を及ぼす。

4. メンテナンスと保守契約

前述した冷凍機の性能低下やトラブルを避けるためには、保守点検・メンテナンスが重要であり、機械を熟知したメーカが保守することが最も有効である。

(1) 日常の点検

点検のインターバルによって、毎日点検、毎週点検、毎月点検そして3ヶ月点検がある。

HFC134a などの高圧冷媒では高圧ガス保安法により1日1回以上の点検で機械の異常有無を確認することが義務付けられている。冷房専用機など1年間のある期間のみ運転するような場合は、冷凍機停止期間にシーズンオフ点検、シーズンイン点検を実施し、この時に高圧ガス保安法に定められた定期自主点検を実施する。年間運転機の場合は、お客様の都合に合わせて年1回冷凍機を停止し定期自主点検を実施する。これらの点検項目例を表1に示す。

表1 機械の主仕様

	点検項目	点検内容	備 考
1	運転時間	点 検	
2	潤滑油圧力	点 検	メーカ提示管理値との比較
3	油面レベル	点 検	
4	潤滑油汚れ	点 検	
5	潤滑油温度（油タンク温度）	点 検	メーカ提示管理値との比較
6	吸込みペーパの作動状況	点 検	
7	ホットガスバイパス弁の作動状況	点 検	
8	膨張弁モータの作動状況	点 検	
9	冷却水入口温度が安定しているか	点 検	メーカ仕様書を参照
10	冷却水出口温度と凝縮温度との差	点 検	メーカ推奨値以内か確認
11	冷却水出入口温度及び圧損	点 検	メーカ仕様書を参照
12	凝縮圧力	点 検	
13	蒸発温度と冷水出口温度との差	点 検	メーカ仕様書を参照
14	冷媒の汚れの有無	点 検	
15	冷媒量は適量か	点 検	
16	冷水（ブライン）出入口温度と蒸発圧	点 検	メーカ仕様書を参照
17	電圧の変動	点 検	定格電圧の±5%以内
18	電流の変動	点 検	定格電流の±5%以内
19	冷却用冷媒の量	点 検	
20	振動・異音の有無	点 検	通常と違うかの確認
21	サージングの発生有無	点 検	
22	ガス漏れの有無	点 検	
23	油にじみなどの有無	点 検	
24	運転記録の記載	点 検	一定時間ごと

	周期	点検項目	点検内容	備 考
1	毎週	ブライン濃度及び pH	点 検	ブライン使用の場合のみ
2	毎週	水室のエア抜き	点 検	
3	毎月	冷水・冷却水水质管理（循環式）	点 検	JRA 基準との比較、又は水処理業者管理値
4	3ヶ月	凝縮器と蒸発器のチューブ及びサブクーラ清掃	清 掃	水质によって変化する
5	3ヶ月	給油温度確認	点 検	

1	定期	圧力計の校正	点 検	
2	自主	安全弁の検査	点 検	
3	点検	油漏れ、ガス漏れの有無確認	点 検	

(2) 圧縮機のオーバーホール

オーバーホール周期は運転時間と経過年数の2通りで示されるが、運転時間による推奨周期は回転部分などの摺動磨耗や金属疲労などを考慮した設計寿命から算出され、経過年数による推奨周期はOリングやパッキンなどの非金属材料の劣化を考慮したものである。いずれも、メーカ推奨周期を超えると性能低下だけでなく振動の増加や制御機構の固着などが発生し、最悪は圧縮機の重篤な損傷や冷媒漏洩など大きなトラブルが発生する可能性がある。

圧縮機のオーバーホールは、メーカの工場にて専用設備を用いて専門技術者が実施することが最も確実である。現地で実施する場合は、電動機ロータや高速軸のバランス取りなど一部部品はメーカ工場にて実施するため工期が長くなる場合もある。圧縮機オーバーホール例を図3に示す。

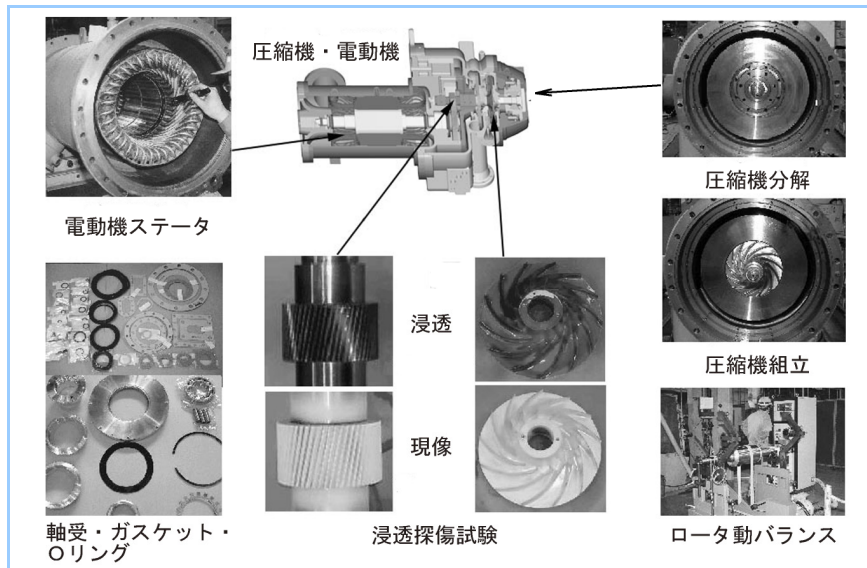


図3 圧縮機オーバーホール例

(3) 熱交換器のメンテナンス

蒸発器と凝縮器のチューブ外側は機械側の密閉空間であり冷媒が大半で汚れは少ないが、チューブ内側は冷水や冷却水などにより汚れが付着する。軟質スケールやスライムなどが付着した場合はブラシ洗浄を実施する(図4)。硬質スケールの場合はスケールに適合した薬剤を選定し薬品洗浄を実施する。なお、冷却水冷却のサブクーラはプレート熱交であり薬品洗浄のみとなる。水質によってはチューブ内面が腐食する場合があります、渦流探傷(ECT)を実施し(図5)、減肉量の測定を行う。チューブの3大障害(スケール、スライム、腐食)を避けるには、(社)日本冷凍空調工業会ガイドライン(JRA-GL-02)の管理基準値に沿った水質管理が重要であり、これを逸脱する場合は水処理会社に委託する必要がある。



図4 凝縮器ブラシ洗浄例



図5 渦流探傷(ECT)

(4) 起動盤(インバータ盤)、操作盤のメンテナンス

一般に、冷凍機本体の保守作業(シーズンオフ・イン点検など)に合わせて起動盤や操作盤のメンテナンスを実施する。盤内の清掃やネジの増し締め点検、計器・開閉器類の点検などを実施するが、各種基板やスイッチ類などはその使用環境により3年から5年程度で交換する。インバータ盤では、上記以外に各種冷却ファンの定期的な交換と制御基板、ユニット基板の定期検査や交換を実施する。

(5) 法定検査

高圧冷媒(HFC134a)を使用するターボ冷凍機では高圧ガス保安法(冷凍保安規則)に従った検査を実施しなければならない。主要な検査は、①保安検査(3年以内に1回以上実施)、②定期自主検査(1年に1回以上実施)の2つあり、①は都道府県又は指定検査機関の実施が必要であるが、「指定設備」に認定された機械は②のみとなる。なお、日常点検(1日に1回以上)はいずれも必要である。

(6) 保守契約

当社では保守契約は次の3パターンを提供している。

①年間保守契約

1年の契約期間で年度ごとに法定点検を主としたシーズンオフ・イン点検、熱交換器チューブ清掃、巡回点検などが含まれ、オプションとして熱交チューブの渦流探傷(ECT)や制御系・計測系の電気品、弁類の交換などが追加される。

②スポット保守契約

お客様自身がターボ冷凍機を保守する場合、法定点検や部品交換のみを冷凍機製造メーカーが実施するものであるが、最近の高効率ターボ冷凍機は制御機構、機器類が複雑になっており費用削減の割にリスクが著しく大きくあまり推奨していない。

③長期保守契約

年間保守契約に圧縮機やインバータ盤のオーバーホール、チューブのECT検査、次に述べる遠隔監視などを含め、10年から15年の長期にわたり毎年同一額で保守契約するのが長期保守契約である。遠隔監視データを毎月分析し、異常や不具合の兆候、熱交換器の性能低下などを察知して適切な処置を提案又は実施するほか、契約内のトラブルが発生した場合は無償で緊急対応するなど、お客様にとってメリットは非常に大きい。15年の保守内容例を表2に示す。また、契約した性能を契約期間中保証するパフォーマンス契約はコストや環境問題に敏感な半導体メーカーなどで広がりを見せつつある。

表2 15年の保守内容例

経過年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
遠隔監視	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
巡回点検、オフ/イン整備	保証期間 ←→		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
圧縮機・電動機 O/H								○							
インバータ盤 O/H, 点検				○				○				○			
渦流探傷検査(薬洗含む)					○					○					
潤滑油分析又は交換	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
緊急保守部品	←														→

5. 遠隔監視システム

高効率ターボ冷凍機はマイクロプロセッサを搭載した操作盤で自動制御するため、操作盤に各部の温度や圧力値、制御弁開度、指令値などすべてのアナログ・デジタルデータが集中しており、専用の通信ターミナル(SCT)とモデムやインターネット回線通信機器を接続することで冷凍機のほとんどの情報を遠隔で監視することができる。以下にその例を示す。

(1) インターネットによる遠隔監視システム「Web 監視」

インターネット回線を利用したリアルタイム監視システムで構成を図6に示す。専用通信ターミナル(SCT)からVPNルータを通してセキュリティを確保しながらインターネット回線を経由してサーバにデータを蓄積する。クライアントはインターネット回線さえあれば、IDとパスワード管理によりいつでもどこでも冷凍機の運転状態、履歴データを確認することができる。

(2) 電話回線による遠隔監視システム

一般電話回線を使用するシステムで構成を図7に示す。1日1回、当社の遠隔監視センターにて電話回線を通じて冷凍機側のモデムにアクセスし冷凍機側の端末に蓄積された24時間のデータをまとめて受信する。冷凍機が異常停止した場合は、その信号を電話回線を通じて遠隔監視センターに通報する仕組みである。

(3) 遠隔監視の実例(凝縮器チューブ汚れの例)

凝縮器飽和温度と冷却水出口温度の差(凝縮器終端温度差)は凝縮器チューブ汚れの指標となり、この値のトレンドを見ることでチューブ汚れの傾向をつかむことができる。図8に例を示すが、春から夏にかけてスライム付着が増大し、冷凍機のCOP(成績係数)が低下。チュー

ブ洗浄により回復した様子が良く分かる。このデータを水質管理に生かすことでより良い管理が実現できる。このように、冷凍機の各種データのトレンドを見ることで、冷凍機が異常停止する前に対処することが可能となる。

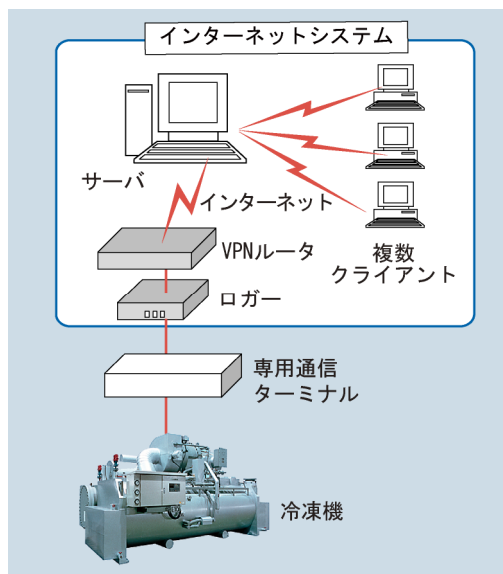


図6 Web監視システムの構成

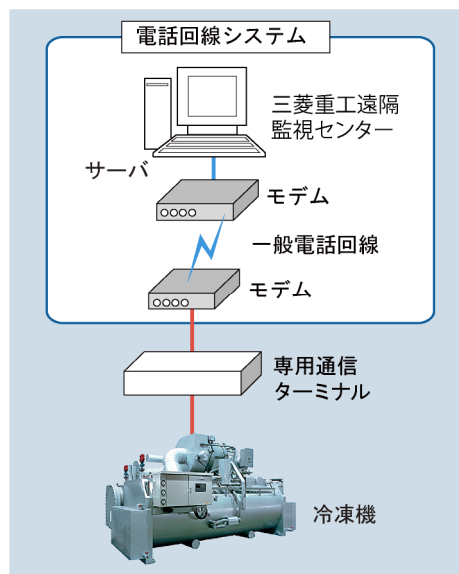


図7 電話回線システムの構成

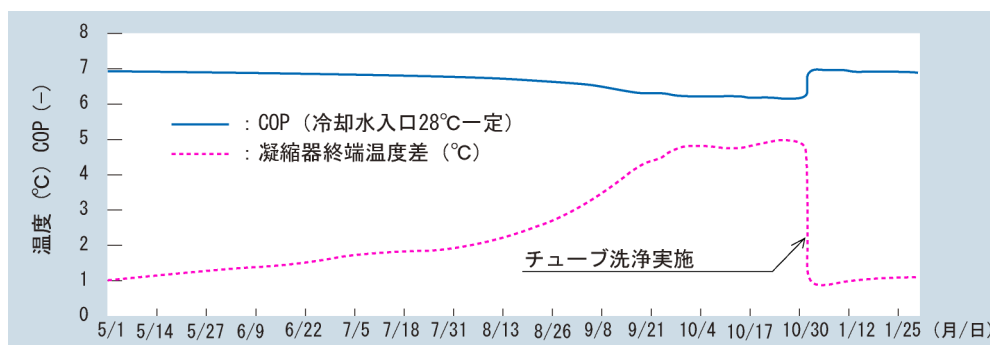


図8 遠隔監視の実例

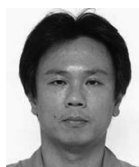
6. まとめ

高効率ターボ冷凍機の優れた性能を維持するメンテナンスについて紹介した。ターボ冷凍機の構成要素ごとの特徴を理解した上で、適切なメンテナンス（毎日の点検や部品交換、洗浄など）を実施すれば高効率を15年以上の長きにわたって維持することができる。近年ではマイコン技術と通信技術の発達により、モバイル環境でも冷凍機の運転状態を把握できるようになった。今後は一層、事後保全から予防保全へ意識が変化するものと考えられる。当社では、信頼性、省エネ運転、運用すべての面でお客様に満足していただけるサービスを提供していく所存である。

参考文献

- (1) 市岡，“冷凍空調・熱源設備のメンテナンスのあり方”，日本冷凍空調学会，p.1
- (2) 石井他，月刊クリーンテクノロジー，Vol.17No.2(2007)，p.23

執筆者紹介



市岡丈彦
冷熱事業本部
大型冷凍機部
サービス課
主席



石井正宏
冷熱事業本部
大型冷凍機部
サービス課
課長



佐藤達哉
冷熱事業本部
大型冷凍機部
設計課
課長